

Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. вип. 43. технічний. 2020

УДК 691.32

**О.О. Шишкін,**

докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-3331-1422

**О.О. Шишкіна,**

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-3716-9347

Криворізький національний університет

## **ВЛАСТИВОСТІ НАНОМОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ В СУХИХ СПЕКОТНИХ УМОВАХ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

*У статті на основі аналізу літературних джерел визначено можливість отримання дрібнозернистих бетонів для монолітного бетонування модифікованих водою, структурованою колоїдними поверхнево-активними речовинами. Наведено особливості монолітного бетонування в сухих спекотних умовах та розглянуті питання технології приготування дрібнозернистих бетонів на основі цементних систем наномодифікованих структурованою колоїдними поверхнево-активними речовинами водою, що поєднує знання закономірностей структуроутворення і модифікування систем «портландцемент – активні мінеральні добавки – суперпластифікатор – колоїдні поверхнево-активні речовини» для забезпеченості технологічних та експлуатаційних властивостей бетону в умовах зміни факторів його технології й експлуатації. Результатами досліджень встановлено, що використання суперпластифікованих систем оснований на цементі та структурованій воді дає змогу направлено керувати технологічними властивостями та створити міцну структуру бетону з покращеними будівельно-технічними властивостями під час тверднення в сухих спекотних температурних умовах. При цьому створюється можливість раннього навантаження конструкцій, скорочення виробничого циклу, збільшення оборотності опалубки та прискорення зведення монолітних будівель і споруд у сухих спекотних температурних умовах.*

**Ключові слова:** монолітне бетонування, температурні умови, технологія наномодифікованих бетонів.

**Вступ.** Бетони, призначені для виготовлення спеціальних будівельних конструкцій, повинні володіти певними специфічними властивостями. В першу чергу це висока міцність та швидкість формування структури.

Високоміцні бетони з'явилися в зарубіжній практиці на початку 60-х років минулого століття. Особливо перспективні отримані в кінці 80-х років двадцятого століття у Франції так звані реакційні порошкові бетони - Reactive powder concretes (RPC). Це нове покоління бетонів з міцністю при стиску до 800 МПа і при розтягуванні до 150 МПа. Компонентами такого бетону є портландцемент, мікрокремнезем, дрібнозернистий пісок, сталева мікрофібра і суперпластифікатор при вмісті води 12-15%.

Однак вплив на властивості даних бетонів технологічних операцій їх приготування, а також високих температур навколишнього середовища при зниженій вологості вивчено недостатньо

### **Аналіз досліджень і публікацій з проблеми.**

Умови експлуатації дорожнього бетону істотно відрізняються від умов експлуатації бетонів будівельних конструкцій. Ці відмінності полягають, в першу чергу, в значній відкритій його поверхні. Проте питання вдосконалення технології дорожнього цементного бетону в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища нині є недостатньо вивченими. Технологія дорожнього будівництва і властивості дорожнього бетону, як показав досвід, мають свої особливості. Практично жодна технологічна операція не в змозі самостійно забезпечити заданий рівень властивостей дорожнього бетону, що укладається в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища. Отримання дорожнього цементного бетону із заданими властивостями можливо лише шляхом управління його структурою і комплексом технологічних операцій виготовлення. Кінцеві властивості дорожнього бетону, укладеного в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища, забезпечуються повним комплексом технологічних операцій.

Прискорення гідратації і підвищення міцності зазначених бетонів забезпечується застосуванням в їх складі нанодисперсних речовин, зокрема, кремнезему, серпентину і інших мінеральних речовин [1-7].

Для регулювання технологічних властивостей бетону застосовують суперпластифікатори [8]. Аналіз результатів наукових досліджень в області поверхнево-активних речовин (ПАР) показав, що практично всі сучасні ПАР, які використовуються в технології бетону, відносяться до молекулярних. У той же час, з точки зору фізико-хімічної механіки значний інтерес викликають колоїдні або (за класифікацією академіка П.О. Ребіндера) напівколоїдні поверхнево-активних речовини. Дані види ПАР є міцелоутворюючими поверхнево-активними речовинами - МПАВ, тобто при певній концентрації, їх молекули об'єднуються в міцели, властивості яких відрізняються від властивостей молекул. Міцели мають розміри і форму, які дозволяють віднести їх до наночастинок. Дані наночастинок - міцели, в значно меншій мірі в порівнянні з молекулярними ПАР екранують частки цементу, що знижує їх вплив на терміни тужавіння і твердіння бетону. Крім цього міцели МПАВ практично не призводять до гідрофобізації поверхні частинок цементу, поглинаючи при цьому гідрофобні частинки, які могли потрапити в бетонну суміш або спеціально вводяться в неї.

Практично всі види високоміцних бетонів, які отримали в даний час широкий науковий розвиток, засновані на портландцементі, активність якого обмежена і, очевидно, на сьогоднішній день вичерпана. Розвитком даних видів бетонів є бетони, модифіковані дімерами МПАВ [9,10].

З підвищенням температури в період формування структури бетонної суміші може порушуватися її суцільність. Особливо несприятливе підвищення температури в період максимального тепловиділення, тому в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища у свіжопокладеній бетонній суміші можуть протікати два протилежні процеси: позитивний - конструктивний процес структуроутворення, ущільнення і кристалізації гелю терпкого; негативний - деструктивний процес освіти в структурі дефектів, що викликаються об'ємними змінами, внутрішніми деформаціями, капілярним тиском і міграцією вологи, що формується. Кінцеві властивості цементного каменю і бетону залежать від міри переважання одного процесу над іншим.

Аналіз структуроутворення цементного каменю і бетону дозволяє зробити висновок, що в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища утворення основи структури бетону, а також мінералогічний і хімічний склад новоутворень практично не відрізняються від аналогічних характеристик бетонів нормального тверднення. Отже, істотні відмінності властивостей бетонів нормального і природного тверднення в умовах сухих спекотних температурних властивостей зовнішнього середовища неможливо пояснити тільки процесами структуроутворення цементного каменю у бетоні. Проте очевидно, що ці процеси є проявом фізичної взаємодії бетону з середовищем тверднення.

#### **Постановка завдання.**

Завданням даної роботи є визначення властивостей цементного бетону в умовах дії високих температур при зниженій вологості навколишнього середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання: вивчити вплив підвищених температур при зниженій вологості навколишнього середовища на властивості бетону, модифікованого дімерами МПАР.

#### **Методика досліджень.**

Дослідження проводили у відповідності зі стандартними методиками. Визначення міцності при стисненні виробляли на універсальній машині УММ-100 випробуванням стандартних зразків (зразки-куби 150 x 150 x 150 мм). Для виготовлення зразків використовували стандартний портландцемент М400 виробництва ПАТ «Хайдельберг цемент» (м.Кривий Ріг). В якості мінерального порошку використовували відходи збагачення залізних руд і їх тонкодисперсну частину.

#### **Результати досліджень.**

Як відомо, розміри виробу впливають на властивості бетону, у першу чергу, на однорідність ніздрюватого бетону. Це й обумовило необхідність проведення групи досліджень.

У даній групі експериментів досліджувалася залежність міцності й щільності бетону від розмірів виробу. Дослідження проводили на зразках-призмах з розміром 100x100x400 мм. Виготовлення зразків і визначення контрольованих властивостей бетону проводили згідно загально відомих методик.

При визначенні впливу висоти виробу на однорідність бетону, виготовлення зразків здійснювали у формах призм установлених вертикально, тобто максимальна висота виробів становила 400 мм.

При визначенні впливу ширини виробів, форми призм розташовували горизонтально, тобто висота виробів становила 100 мм.

При визначенні впливу висоти виробу після твердіння зразків 28 діб в нормальних умовах, їх розрізали на чотири частини висотою по 98 мм і визначали міцність і щільність бетону в кожній частині. За усереднену висоту кожної частини від низу форми, приймали відстань від її середини до низу форми.

В умовах експерименту щільність і міцність цементного каменю зменшуються зі збільшенням відстані шару бетону від низу форми (рис. 1).

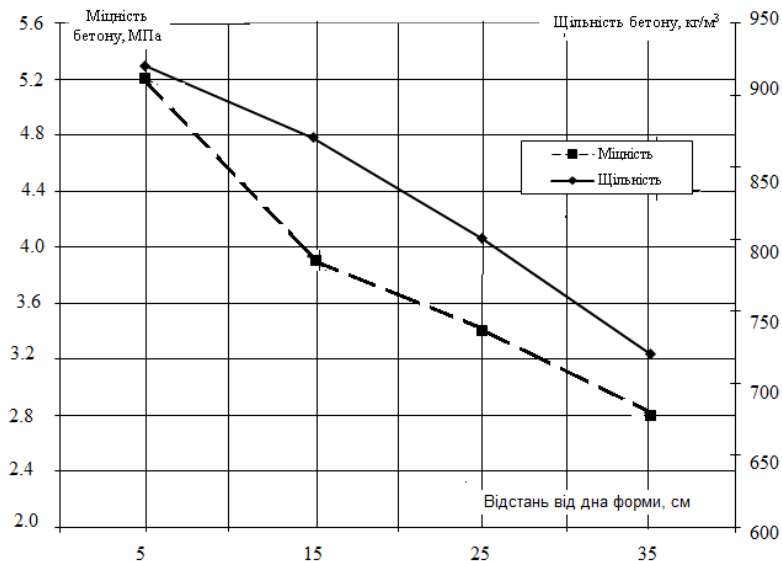


Рис. 1. Зміна властивостей бетону по висоті виробу

Зміна властивостей бетону по висоті виробу можна пояснити тим, що піноцементне тісто являє собою суспензію схильну до розшарування внаслідок седиментації, крім того, пухирці газу, що утворюються в цементному тісті, прагнуть піднятися до гори. Пухирці газу, які перебувають у верхніх шарах цементного тіста, відчувають на собі менший тиск розташованих вище шарів цементного тіста й, у силу цього, розширюються більшою мірою. Очевидно, що ще більший вплив на розходження у властивостях по висоті форми буде спостерігатися в бетоні, тому що в ньому є ще один компонент обмежувач розширення системи та здатний до осідання - зерна заповнювача. Це свідчить про можливу позитивну роль заповнювачів бетону для забезпечення його достатньої однорідності. Для підтвердження даного висновку здійснено виготовлення зразків з бетону, який мав різний вміст заповнювача.

В умовах експерименту введення заповнювача в бетон приводить до збільшення однорідності його властивостей по висоті виробу. Це можна пояснити тим, що, як заповнювач виконує роль аналогічну стінкам форми, адсорбційно утримуючи цементне тісто.

Стійкість бетону до дії позитивних температур є однією з найважливіших його властивостей, що забезпечують захист будівельних конструкцій від теплового впливу.

У даній групі експериментів змінними параметрами були прийняті величина енергетичного впливу навколишнього середовища, що характеризується температурою, тривалість цього впливу, а також час початку енергетичного впливу.

Контрольованим параметром була прийнята міцність бетону. В експериментах температура навколишнього середовища була обмежена температурами, до яких

звичайно нагріваються будівельні конструкції. Величина температури, до якої нагрівався бетон, становила 473K.

У даній групі досліджень вивчалася теплопровідність бетону залежно від його щільності, як показника пористості. В умовах експерименту збільшення пористості бетону (зниження його щільності) приводить до зменшення його теплопровідності (табл. 1).

Таблиця 1

**Теплопровідність бетону**

Вид бетону	Щільність бетону, $\text{кг/м}^3$	Теплопровідність бетону, $\text{ккал/м} \cdot \text{град} \cdot \text{год.}$
без добавки	712	0,18
	858	0,21
	106	0,24
	1110	0,36
з добавкою води, структурованої МПАР	730	0,12
	820	0,14
	1150	0,17
	1280	0,20

Крім цього, теплопровідність бетону, що містить воду, структуровану МПАР, декілька нижче теплопровідності бетону аналогічної щільності, поризованого без цієї добавки. Що також можна пояснити розходженнями в поровій структурі бетонів.

Термостійкість бетону – його здатність зберігати свої фізико-механічні властивості в умовах енергетичного впливу навколишнього середовища, одна з основних його властивостей.

В умовах експерименту зменшення часу від моменту готування бетону до початку його нагрівання (рис. 2), а також збільшення швидкості нагрівання бетону (рис. 3) приводить до зниження міцності бетону. Однак зниження міцності в бетону, що містить воду, структуровану МПАР, значно менше, ніж у бетонів, поризованих без цієї добавки, або легких бетонів на пористих заповнювачах.

Це пояснюється тим, що МПАР змінює стан води в даній системі. Крім цього, наявність у даній системі активної мінеральної добавки (АМД) та заповнювача знижує її усадочні деформації. Це знижує температурні деформації цементного каменю у бетоні, зменшуючи деструктивні процеси при формуванні його структури, а товщина прошарків цементного каменю забезпечує достатню їхню тріщиностійкість при нагріванні.

Збільшення товщини прошарків цементного каменю понад певну величину приводить до збільшення загальних усадочних деформацій бетону, а зменшення – до зменшення тріщиностійкості цементного каменю.

У наступній групі експериментів досліджували залежність міцності бетону від тривалості нагрівання й кількості нагрівань. Температура, до якої нагрівали зразки, становила 373, 473 і 573K.

За граничне значення кількостей нагрівань бетону, за аналогією з методикою визначення морозостійкості бетону була прийнята така їхня кількість, при якій бетон втрачав міцність на 15%.

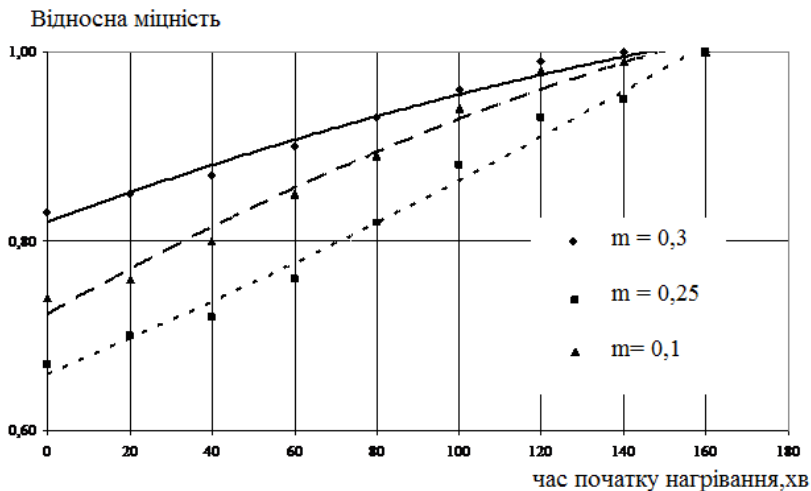


Рис. 2. Вплив часу до початку нагрівання бетону на його міцність (початкова температура  $(291 \pm 2)^\circ\text{C}$ , кінцева –  $(473 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,  $m$  – концентрація цементного каменю в бетоні)

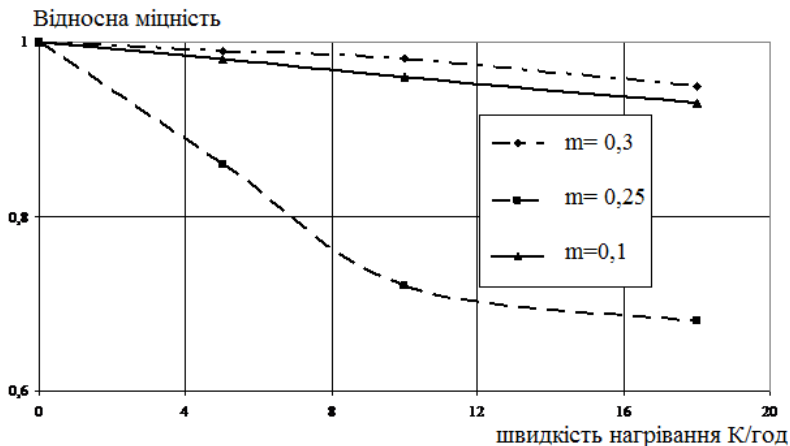


Рис. 3. Вплив швидкості нагрівання бетонної суміші до температури  $(473 \pm 2)^\circ\text{C}$  на міцність бетону,  $m$  – концентрація цементного каменю в бетоні)

В умовах експерименту збільшення тривалості нагрівання бетону й кількості нагрівань приводить до зниження його міцності (рис. 4).

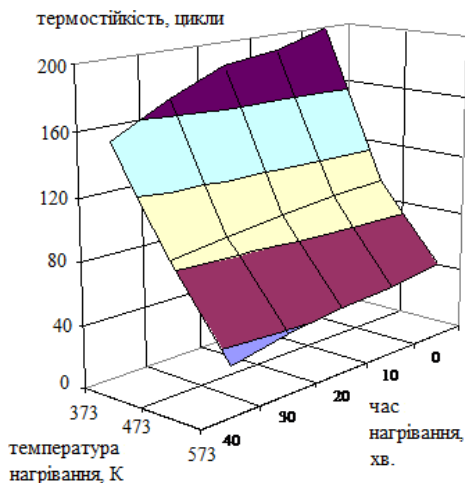


Рис. 4 Термостійкість бетонів складу 1:0,28 (Ц:Зап.)

Отже, знаючи середньостатистичну величину температури нагрівання виробу і її тривалість, можна визначити яку кількість теплових впливів витримає бетон, а, отже – термін служби бетонного виробу.

Морозостійкість бетону визначалася залежно від вмісту в ньому МПАР й температурного режиму твердіння при постійному його складі.

В умовах експерименту введення до складу ніздрюватого бетону води, структурованої МПАР, приводить до збільшення його морозостійкості (табл. 2). При цьому оптимальний за морозостійкістю бетону вміст у ньому МПАР становить 0,0006% від маси цементу.

Таблиця 2

Морозостійкість бетону		
Вміст цементного каменю в бетоні – $m$	Вміст МПАР в бетоні, %	Морозостійкість бетону, цикли
0,3	0	25
те саме	0,0002	30
те саме	0,0005	35
0,35	0	10
те саме	0,0002	10
те саме	0,0005	25
0,4	0	15
те саме	0,0002	12
те саме	0,0005	20

Примітка. Водоцементне відношення 0,5.

Таким чином, введення до складу бетону води, структурованої МПАР, приводить до підвищення його морозостійкості. При цьому знижується вплив позитивних температур на формуванні цих властивостей бетону за рахунок модифікації його пористої структури шляхом підвищення ступеня зв'язування води й утворення аквакомплексних сполук.

**Висновки.** Результати виконаних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Введення до складу бетону колоїдних гідрофобних поверхнево-активних речовин в над малих концентраціях призводить до зменшення розшарування ніздрюватого бетону по висоті виробу;

2. Введення до складу бетону колоїдних гідрофобних поверхнево-активних речовин в над малих концентраціях призводить до зменшення його теплопровідності.

3. Введення до складу бетону колоїдних гідрофобних поверхнево-активних речовин в над малих концентраціях призводить до збільшення його стійкості, як до дії підвищених температур, так і низьких (морозу).

#### ***Список літератури:***

1. Bentz D.P. Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation [Text] / D.P. Bentz // Cement Concrete Research, 2005. – Vol. 35. – No 1. – pp. 185-188.

2. Arteil C. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions [Text] / C Arteil., E.Garcia // Cement Concrete Research, 2008. – Vol. 38. – № 5. – pp. 633-642.

3. Erdem T.K. Use of binary and ternary blends in high strength concrete [Text] / T.K. Erdem, O. Kirca // Construction and Building Materials. 2008. – Vol. 22. – № 7. – pp. 1477-1483.

4. Chujie J. Behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete at medium strain rate [Text] / J. Chujie, S. Wei, H. Shi, J. Guoping // Front. Archit. Civ. Eng. China, 2009. – Vol. 3. – 2. – pp. 131-136.

5. Баженов Ю. М. Исследование наномодифицированного мелкозернистого бетона [Текст] / Ю. М. Баженов, Н. П. Лукутцова, Е. Г. Матвеева // Вестник МГСУ, - 2010. – № 4. – Т. 2. – С. 415-418.

6. Тевяшев, А.Д. О возможности управления свойствами цементобетонов с помощью нано-модификаторов [Текст] / А.Д. Тевяшев, Е.С. Шитиков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2009. - 4/7 ( 40 ). – С. 35-40.

7. Гамалий Е.А. Структура и свойства цементного камня, с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора [Текст] / Е.А. Гамалий, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ, 2009. – 16. – С. 29-35

8. Papayianni I. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures /I. Papayianni, G. Tsohos, N. Oikonomou, P. Mavria // Cement Concrete Research, 2005. – Vol. 27. – № 2. – pp. 217-222.

9. Шишкіна О.О. Застосування колоїдних поверхнево-активних речовин в технології дрібнозернистих бетонів. [Текст] / О.О. Шишкіна, О.О.Шишкін // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 39, - ч. 1. – С. 21-24.

10. Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete [Text] / A.Shishkin, A. Shishkina // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, - 2018. – 3/6 (93). – С. 46 – 51.



### **References**

1. Bentz, D.P. (2005). «Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation». *Cement Concrete Research*. Vol. 35, No 1, 185-188.
2. Arteit, C., Garcia, E. (2008). «Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions». *Cement Concrete Research*, Vol. 38, № 5, 633-642.
3. Erdem, T.K., Kirca, O. (2008). «Use of binary and ternary blends in high strength concrete» *Construction and Building Materials*. Vol. 22, № 7, 1477-1483.
4. Chujie, J. Wei, S., Shi, H., Guoping, J. (2009). «Behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete at medium strain rate». *Front. Archit. Civ. Eng. China*. Vol. 3, № 2, 131-136.
5. Bazhenov, U.M., Lukutsova, N.P., Matveeva, E.G. (2010). «Yssledovanye nanomodyfytsyrovannoho melkozernystoho betona». *Herald MGRS*. 4. T. 2, 415-418.
6. Tevyashev, A.D., Shytykov E.S. (2009). «O vozmozhnosti upravleniya svoystvamy cementobetonov s pomoshhyu nano-modyfykatorov». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/7 (40), 35-40.
7. Gamalyj, E.A., Trofymov, B.Ya., Kramar, L.Ya. (2009). «Struktura y svoystva cementnogo kamnya, s dobavkamy mykrokremnezema y polikarboksylatnogo plastyfikatora», *Vestny`k YuUrgU*, 16, 29-35
8. Papayianni, I., Tsohos, G., Oikonomou, N., Mavria, P. (2005). «Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures». *Cement Concrete Research*. Vol. 27, 2, 217-222.
9. Shishkin, A., Shishkina, A. (2019). «Zastosuvannya koloyidnyx poverxnevo-aktyvnyx rechovyv v tehnologiyi dribnozernystyx betoniv». *Shliakhy pidvyschennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 39, 1, 21-24.
10. Shishkina, A., Shishkin, A. (2018). Research into effect of complex nanomodifiers on the strength of fine-grained concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/6 (93), 46 – 51.

#### **А. Шишкин, А. Шишкина**

#### **Свойства наномодифицированного бетона в сухих жарких условиях внешней среды**

В статье на основе анализа литературных источников определена возможность получения мелкозернистых бетонов для монолитного бетонирования модифицированных структурированной коллоидными поверхностно-активными веществами водой. Приведены особенности монолитного бетонирования в сухих жарких условиях и рассмотрены вопросы технологии приготовления мелкозернистых бетонов на основе цементных систем наномодифицированных структурированной коллоидными поверхностно-активными веществами водой. Сочетает знание закономерностей структурообразования и модификации систем «портландцемент – микронаполнители – суперпластификатор – коллоидные поверхностно-активные вещества» для обеспеченности технологических и эксплуатационных свойств бетона в условиях изменения факторов его технологии и эксплуатации. Результатами исследований установлено, что использование суперпластифицированных систем основанных на цементе и структурированной воде позволяет направленно управлять технологическими свойствами и создать прочную структуру бетона с улучшенными строительно-техническими

свойствами при твердения в сухих жарких температурных условиях. При этом создается возможность ранней нагрузки конструкций, сокращение производственного цикла, увеличение оборачиваемости опалубки и ускорения возведения монолитных зданий и сооружений в сухих жарких температурных условиях.

**Ключевые слова:** монолитное бетонирование, температурные условия, технология наномодифицированных бетонов.

**A. Shyshkin, A. Shyshkina**

***Properties of nanomodified concrete in dry hot external conditions***

Based on the analysis of literary sources, the article determines the possibility of producing fine-grained concrete for monolithic concreting with water modified with structured colloidal surfactants. Peculiarities of monolithic concreting in dry hot conditions are given and the issues of preparation technology of fine-grained concrete based on cement systems with nanomodified structured colloidal surfactants water are considered. It combines knowledge of the laws of structure formation and modification of the systems "Portland cement - micro-fillers - superplasticizer - colloidal surfactants" to ensure the technological and operational properties of concrete in the face of changing factors of its technology and operation. An increase in the rate of heating of concrete leads to a decrease in the strength of concrete. However, the decrease in strength of concrete structured by colloidal surfactants is much less than in concrete that does not contain these substances. The results of studies have established that the use of superplasticized systems based on cement and structured water allows directionally controlling technological properties and creating a solid concrete structure with improved construction and technical properties during hardening in dry, hot temperature conditions. The results of the studies allow us to draw the following conclusions: the introduction of colloidal hydrophobic surfactants into the composition of concrete in ultra-low concentrations leads to a decrease in the stratification of cellular concrete along the height of the product; the introduction of concrete to colloidal hydrophobic surfactants in ultra-low concentrations leads to a decrease in its thermal conductivity; the introduction of colloidal hydrophobic surfactants into the composition of concrete in ultra-low concentrations leads to an increase in its stability, both to the action of elevated temperatures and low (frost). This creates the possibility of early loading of structures, shortening the production cycle, increasing the turnover of formwork and accelerating the construction of monolithic buildings and structures in dry, hot temperature conditions.

**Keywords:** monolithic concreting, temperature conditions, technology of nanomodified concretes.

***Посилання на статтю***

**APA:** Shyshkin, A. & Shyshkina, A. (2020) Vlastyvosti nanomodyfikovanoho betonu v suchykh spekotnykh umovakh zovnishn'oho seedovyscha. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 43, 13 –22.

**ДСТУ:** Шишкін О.О Властивості наномодифікованого бетону в сухих спекотних умовах зовнішнього сеедовища [Текст] / О.О. Шишкін, О.О. Шишкіна // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – 2020. – № 43. – С. 13 –22.